

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Katedra mechanické technologie**

**Návrh technologie tváření ložiskových klecí**

**Forming Technology Design of Bearing Cages**

**Student:**

**Vedoucí bakalářské práce:**

**Bc. Michal Minář**

**prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.**

**Ostrava 2014**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Minář**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Specializace: 20 Strojírenská technologie  
Téma: **Návrh technologie tváření ložiskových klecí**  
**Forming Technology Design of Bearing Cages**

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor současného stavu výroby ložiskových klecí.
2. Návrh alternativní technologie tváření za tepla.
3. Analýza technologických parametrů navržené technologie.
4. Technické a ekonomické hodnocení obou variant.

Seznam doporučené odborné literatury:

DOEGE, E.; MEYER-NOLKEMPER, H.; SAAED, I. *Fleisskurvenatlas metallischer Werkstoffe*. Leipzig: Fachbuchverlag 1999.  
*Stahl-Eisen-Werkstoffblaetter (SEW) des Vereins Deutscher Eisenhuettenleute*. Duesseldorf: Verlag Stahleisen mbh 1992.  
PETRUŽELKA, J. aj. *Metoda konečných prvků ve tváření za tepla*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1998, ISBN 80-7078-636-1.  
AVITZUR, B. *Handbook of Metal-Forming Processes*. New York: John Wiley and Sons, 1983.  
SEMIATIN, S. L. a kol. *ASM Handbook First Edition. Vol. 14A, Metalworking: Bulk Forming*. Ohio, Metals Park: ASM International, 2005.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



  
Ing. Petr Mohyla, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ STUDENTA**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Tato práce byla vypracována se souhlasem vedení společnosti ZKL Hanušovice, a.s. v Hanušovicích.

V Ostravě 19. 5. 2014



.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 19. 5. 2014



.....  
podpis studenta

**Adresa trvalého pobytu autora práce:**

Hlavní 229

Hanušovice

788 33

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Minář, M. *Návrh technologie tváření ložiskových klecí. Diplomová práce.* Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2014, 57 s. Vedoucí práce: prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.

Diplomová práce se zabývá problematikou výroby mosazných ložiskových klecí. V úvodu jsou popsány dosavadní technologie výroby klecí z mosazných prstenců. Další část práce se věnuje zápustkovému kování a vývoji prototypu odlitku a později prototypu oboustranně zubatého výkovku. Hlavní část práce se zaměřuje na optimální konstrukci zápustek a praktické zkoušky výkovků. V závěru jsou shrnuty poznatky získané z praktických zkoušek.

Klíčová slova: valivá ložiska, mosaz, zápustkové kování, ZKL Hanušovice

## **ANNOTATION TO DIPLOMA THESIS**

Minář, M. *Forming Technology Design of Bearing Cages. Diploma Thesis.* Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2014, 57 p. Thesis head: Hrubý, J.

The diploma thesis deal with questions of production of brass bearing cages. The introduction describes current technology of production cages from brass rings. Next chapter deal with die forging and development of prototype cast, next to development of prototype of double sided toothy forging. The main part focuses on the optimal design of dies and practical forging tests. At the end of Diploma thesis are summarized all knowledges from practical tests.

Keywords: roller bearing, brass, die forging, ZKL Hanusovice

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat všem, kteří se podíleli přímo i nepřímo na této práci. Chtěl bych poděkovat pracovníkům akciové společnosti ZKL Hanušovice, zejména panu Ing. Záluskému a Ing. Havrilovi za odborné rady a vstřícný přístup. Velké díky patří panu prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc., který se staral o vedení bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat rodičům za podporu a trpělivost během studia.

## Obsah

<b>Seznam použitých značek.....</b>	<b>8</b>
<b>Úvod.....</b>	<b>9</b>
<b>1 Rozbor současného stavu výroby ložiskových klecí.....</b>	<b>10</b>
1.1 Historie firmy.....	11
1.2 Současná technologie.....	14
1.2.1 Současné polotovary pro výrobu mosazných klecí.....	15
1.2.2 Současná technologie obrábění mosazných polotovarů.....	17
<b>2 Návrh alternativní technologie tváření za tepla.....</b>	<b>20</b>
2.1 Zápustkové kování.....	22
2.2 Vývoj prototypu polotovaru.....	26
2.3 Alternativní technologie obrábění.....	34
<b>3 Analýza technologických parametrů navržené technologie.....</b>	<b>35</b>
3.1 Analýza mosazných materiálů.....	36
3.2 Kovací zkouška.....	37
3.3 Děrovací zkouška.....	51
3.4 Zkouška obrábění.....	53
<b>4 Technické a ekonomické zhodnocení obou variant.....</b>	<b>56</b>
<b>5 Závěr.....</b>	<b>58</b>
<b>6 Seznam použité literatury.....</b>	<b>59</b>
<b>7 Seznam obrázků.....</b>	<b>59</b>
<b>8 Seznam tabulek.....</b>	<b>61</b>

## Seznam použitých značek

VÚVL – Výzkumný ústav valivých ložisek

Kapsa – vyfrézovaný prostor v kleci určený pro vložení valivého tělíska

Ms58Al – typové označení mosazného polotovaru

Cu – chemická značka mědi

Sn – chemická značka cínu

Pb – chemická značka olova

Sb – chemická značka antimonu

Al – chemická značka hliníku

Mn – chemická značka manganu

Fe – chemická značka železa

Si – chemická značka křemíku

Ni – chemická značka niklu

Zn – chemická značka zinku

GL – gravitační lití

Q Form 7 – výpočtový a simulační program

HRC – tvrdost dle Rockwella

HB – tvrdost dle Brinella

SD – spodní díl

HD – horní díl

DR – dělicí rovina



## **Úvod**

Výroba mosazných klecí pro valivá ložiska se řadí mezi náročnější obráběcí procesy. Všeobecnou snahou je dosahovat vysoké produktivity, předepsané jakosti obrobeného povrchu a minimalizovat náklady. Diplomová práce je zaměřena na zavedení nové technologie a s tím spojené snížení nákladů v oblasti nákupu mosazných polotovarů. Toto téma mi bylo nabídnuto od akciové společnosti ZKL Hanušovice, která se zabývá výrobou komponentů pro valivá ložiska a trubkovým programem pro automobilový průmysl. Cílem je vyvinout optimální polotovary pomocí zápusťkového kování a úprava obráběcího procesu. V případě zvládnutí nové technologie je počítáno s nasazením do sériové výroby.

## **1      Rozbor současného stavu výroby ložiskových klecí**

Akciová společnost ZKL Hanušovice (dále jen ZKL Hanušovice), se skládá ze dvou výrobních programů, a to z divize výroby ložiskových komponentů a z divize automotive. Divize automotive je obecně výroba trubkových dílů do osobních automobilů, ať už se jedná o palivové, vzduchové nebo olejové rozvody. Divize ložiskového programu vyrábí komponenty ložisek, jako jsou valivá tělíska a klece.

Koncern ZKL je tradiční český výrobce valivých ložisek a největší výrobce speciálních a technologických ložisek ve střední Evropě. Prosazuje flexibilitu a rychlost v plnění požadavků zákazníka a schopnost přijmout odpovědnost. Ve všech činnostech uplatňuje šetrný přístup k životnímu prostředí.



***Obr. 1.1 Pohled na areál firmy ZKL Hanušovice [1]***

Zaměřuje se na průmyslová odvětví, která vyžadují přesnost a vysokou spolehlivost provozu valivých ložisek ve strojrenských zařízeních. Speciální a technologická ložiska od průměru 400 do 1600 mm nabízí v celém sortimentu spolu s technickým řešením, akceschopností s využitím moderních konstrukčních a vývojových metod a technologií.

Rozvojem stabilních obchodních vazeb na tradičních trzích ZKL ve světě zvyšuje tržní podíl a upevňuje pozici zejména v sektorech energetiky, těžebního, metalurgického a zpracovatelského průmyslu včetně dopravy. [2]

## **1.1 Historie firmy**

ZKL Hanušovice je dceřinou firmou společnosti ZKL, a.s. Akciová společnost ZKL integruje české ložiskové výrobce vyrábějící ložiska pod ochrannou známkou ZKL. Byla založena v roce 1999 jako čistě česká soukromá společnost integrující tři výrobní podniky, a to společnost ZKL Brno, a.s., společnost ZKL Klášterec nad Ohří, a.s. a společnost ZKL Hanušovice. Dále pak specializované společnosti ZKL Výzkum a vývoj, a.s. a ZKL Bearings CZ, a.s. Výroba každé z těchto společností má svou hlubokou historii, ke které se hlásíme a vycházejíc z těchto tradic, zajišťují výrobní podniky kontinuitu vývoje a výroby oboru valivých ložisek ZKL v České republice. [3]

Právě kontinuita vývoje a výroby ložisek ZKL je považována za důležitý faktor, který je zdrojem poznání a zkušeností, pozitivním způsobem ovlivňujícím dynamiku rozvoje firmy v současnosti. Z toho důvodu je vhodné zmínit některé důležité historické milníky.

- V roce 1921 byla vyrobena první valivá ložiska na území naší republiky v závodech Fichtl a Sachs v Perštejně nad Ohří. Prvními výrobky byly volnoběžky do jízdních kol. Vzhledem ke stoupající výrobě v mateřském závodě ve Schweinfurtu, byla v roce 1921 do Perštejna převedena výroba ložiskových kuliček a o dva roky později se výrobní sortiment rozšířil o valivá ložiska.
- 1947 - založení ložiskového závodu v Brně – Líšni a zahájení výroby prvních 28 typorozměrů kuličkových ložisek.
- 1953 - založení Výzkumného ústavu pro valivá ložiska v Brně. Neustálá potřeba nových druhů ložisek a zvyšující se požadavky na technickou úroveň v oblasti technologie, konstrukce a kvality, daly podnět k vybudování výzkumného ústavu ZKL VÚVL,

z něhož se dnes odčlenil ZKL - Výzkum a vývoj, a. s., se sídlem v Brně. Vývoj v osmdesátých letech ovlivnilo rozhodnutí státních orgánů produkcí ložisek specializovat. Ve spolupráci s Výzkumným ústavem valivých ložisek byly zavedeny do výroby nové typové řady a vývoj i výroba se zaměřily i na speciální ložiska atypických rozměrů pro kolejová vozidla, stavební stroje, hutní a důlní průmysl a na velkorozměrová ložiska.

- 1954 - registrace ochranné známky „ZKL“. Ochranná známka je registrována v 53 zemích světa. Oprávnění užívat známku ZKL mají akciové společnosti koncernu ZKL.
- 1959 – 60 - v závěru šedesátých let byla v Klášterci zavedena vlastní výroba kuliček. Převod výroby z Perštejna a její rozšíření zapříčinilo rozsáhlou výstavbu výrobních hal na počátku sedmdesátých let. Od roku 1965 byl podnik začleněn pod generální ředitelství ZVL a později pod koncern se sídlem v Povážské Bystrici.
- Po roce 1990 byl koncern zrušen a ze ZKL Klášterec nad Ohří byla vytvořena samostatná akciová společnost, jejímž stoprocentním vlastníkem zůstal stát. Hospodářské změny vedly v rámci brněnského Zetoru k oddělení ložiskové výroby od traktorové a později k ustavení samostatného subjektu pro výrobu soudečkových ložisek - ZKL Brno, a.s. Tato společnost se v roce 1998 stala většinovým vlastníkem ZKL Klášterec nad Ohří, a.s. a od listopadu téhož roku byly připojeny také VTL Hanušovice, dnes ZKL Hanušovice. Původní tovární budovy v Hanušovicích byly stavěny jako přádelna. Strojírenské výrobě se zde věnují od roku 1957, kdy se závod sloučil s Karosou Vysoké Mýto. O rok později se firma stala pobočným závodem výrobce traktorů a ložisek – Zetoru Brno a byla zde spuštěna výroba traktorových dílů. Výrobní program reprezentovaly diskové brzdy, tlumiče výfuků, závěsy pro jednonápravový návěs a široký sortiment vzduchových a hydraulických trubek. Na propad výroby traktorů po roce 1990 reagovala firma zásadními změnami ve výrobním programu.
- 1995 - navázala spolupráci s automobilovým koncernem VW na dodávky přesně tvarovaných trubek. Po připojení ke koncernu ZKL byla do Hanušovic částečně převedena výroba soudečků pro soudečková ložiska vyráběná v ZKL Brno, a. s. Podporu výroby ložisek zajišťuje od dubna 1999 ZKL Náradí, a. s. v Klášterci nad Ohří. Zaměření této akciové společnosti je jednoznačné: konstrukce a výroba nástrojů a náradí

pro třískové obrábění na speciálních strojích, lisovací nástroje a nástroje na výrobu komponentů pro automobilový průmysl.

- 1999 - založení konsolidované skupiny výrobců valivých ložisek v České republice, koncernu ZKL se sídlem v Brně. Během devadesátých let byly slovenské závody s ložiskovým výrobním programem v rámci rozdělení republiky od českých výrobců odtrženy a ostatní producenti ložisek v České republice většinou změnili výrobní program. Koncernová společnost ZKL, která byla založena k 1. 7. 1999, tak sdružuje všechny rozhodující výrobce ložisek v České republice. [3]

V současné době je koncern ZKL strukturován tak, aby mohl efektivně rozvíjet a posilovat svou konkurenceschopnost ve srovnání s předními světovými výrobci ložisek, tzn. disponuje konstrukčně vývojovou základnou, dostatečnými výrobními kapacitami, vzdělanými a kvalifikovanými zaměstnanci a dynamicky se rozvíjející prodejní sítí, která je tvořena sítí prodejních zástupců jmenovaných pro každé teritorium, s ohledem na specifické podmínky každého národního trhu. [3]

## 1.2 Současná technologie

V současné době se využívají mosazné polotovary z vítkovických sléváren. Současné prstencové polotovary se jeví jako vysoce neekonomické. Z každého polotovaru se využije pouze cca 20%. Tedy 80% mosazného prstence se promění v třísky. Vzhledem k vnesené práci do ceny polotovaru a pozdějšímu prodeji třísek dochází k finanční neefektivitě, která prodražuje výsledný výrobek – klec. Díky zápustkovému kování se značně sníží hmotnost polotovaru a tím náklady na výrobu klece.



*Obr. 1.2 Ukázka sortimentu mosazných klecí [1]*

### 1.2.1 Současné polotovary pro výrobu mosazných klecí

Mosazné klece jsou více odolné oproti klecím ocelovým. Snesou vyšší zatížení, vibrace a jsou konstrukčně pevnější. V minulosti se vyráběly klece jednostranně zubaté a do jednoho ložiska se vkládaly klece dvě. Jednostranně zubaté ložisko zobrazeno níže na obrázku 1.3.



***Obr. 1.3 Jednostranně zubatá klec***

Vývojem se konstrukce zdokonalila a přešlo se na jednoduché oboustranně zubaté klece, což přinášelo nejen úsporu finanční, ale hlavně zdokonalení samotného ložiska, protože díky tenčí středové příčce se mohly zvětšit valivá tělíska, což zvyšuje únosnost ložiska, viz. obrázek 1.4. Klece se vyrábí obráběním z mosazných prstenců, které nám dodává firma Vítkovické slévárny, a.s.





***Obr. 1.4*** Oboustranně zubatá klec

Tyto prstence jsou vyráběny odstředivým odléváním v kokile. Odstředivým odléváním lze vyrobit vše, co má symetrický rotační průřez a uprostřed dutinu. V našem případě se v podstatě jedná o krátké trubky velkých průměrů. Odstředivé odlévání je velice vhodné pro výrobu těchto polotovarů, protože případné nečistoty jsou lehčí a vlivem odstředivé síly se nachází na vnitřní straně prstence. V další operaci totiž dochází k soustružení na požadované vnitřní a vnější průměry a případné nečistoty jsou odstraněny soustružením. Polotovar je soustružením rovněž upraven na požadovanou šířku prstence.



***Obr. 1.5*** Prstencový polotovar





*Obr. 1.6 Uložení polotovarů při přepravě*

### **1.2.2 Současná technologie obrábění mosazných polotovarů**

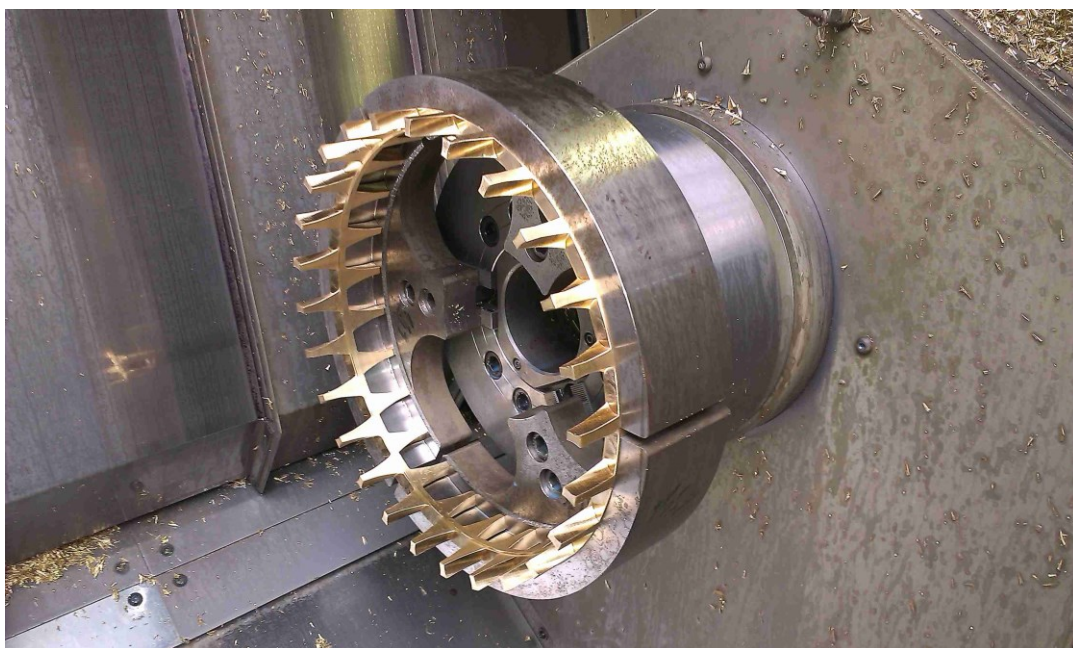
Mosazné prstence jsou obráběny v obráběcích centrech OKUMA Multus. Jedná se o čtyřosé stroje (X, Y, Z, C). Tyto stroje vynikají svou rychlostí a přesností výroby. Stroj disponuje párem čelistí a vnitřním systémem IGF



*Obr. 1.7 Obráběcí centrum Okuma Multus*

### Postup technologie současné výroby:

- Upnutí do levých čelistí,
- hrubé osoustružení čela,
- hrubé osoustružení vnějšího průměru,
- obrobení čela a vnějšího průměru dle výkresové dokumentace,
- hrubé osoustružení vnitřního průměru,
- obrobení vnitřního průměru dle výkresové dokumentace,
- výměna nástroje (kombinovaný nůž – fréza),
- frézování kapes dle výkresových hodnot,
- předání do pravých čelistí a stejný sled jako v levých čelistech.



***Obr. 1.8*** Obrobená klec

Po obrobení dochází k vyjmutí z čelistí, odstranění ostřin a apretaci ve vibračním omílacím stroji Rössler. Apretace ve stroji Rössler má příznivý vliv na povrchovou strukturu klece. Vlivem nárazů omílacích tělísek na povrch klece dochází ke zpevňování povrchových struktur a zabroušení hran.



***Obr. 1.9*** *Vibrační omílací stroj Rössler*

## **2 Návrh alternativní technologie tváření za tepla**

Tvářením kovů rozumíme technologický (výrobní) proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru výrobku nebo polotovaru, příp. vlastností, v důsledku působení vnějších sil bez odběru třísek. Podstatou tváření je vznik plastických deformací, ke kterým dojde v okamžiku dosažení napětí na mezi kluzu pro daný materiál. Tento děj je provázen fyzikálními změnami a změnami struktury materiálu, což ovlivňuje mechanické vlastnosti materiálu. [4]

Výhodami tváření jsou vysoká produktivita práce, vysoké využití materiálu a velmi dobrá rozměrová přesnost tvářených výrobků. Nevýhodou je vysoká cena strojů a nástrojů a omezené rozměry konečného výrobku. [4]

Technologické tvářecí procesy je možné rozdělit podle:

- teploty,
- tepelného efektu,
- stupně dosažené deformace
- a podle působení vnějších sil. [4]

### **Rozdělení tvářecích procesů podle teploty**

Při změně teploty se mění deformační odpor materiálu proti tváření. Se zvyšující se teplotou se zlepšují plastické vlastnosti kovů a jejich slitin. [4]

**Tváření za studena** - tváření pod rekryalizační teplotou, kdy teplota tváření je pod hodnotou 30 % teploty tání tvářeného materiálu.

**Tváření za tepla** - probíhá nad rekryalizační teplotou.

**Tváření za polookřevu** - představuje kompromis mezi tvářením za studena a za tepla. [4]



### Rozdělení tvářecích procesů podle stupně deformace

Kritériem je zde stupeň deformace při určité teplotě a rychlosti deformace bez nebezpečí vzniku trhlin na povrchu materiálu. Část energie, vynaložené na tváření, se mění na teplo a množství tepla závisí na rychlosti deformace a odporu materiálu proti deformaci. [4]

### Rozdělení tvářecích procesů podle působení vnějších sil

Z tohoto hlediska se tváření kovů dělí na:

#### **tváření objemové**

- při kterém deformace nastává ve směru všech tří os souřadného systému a patří sem válcování, kování, protlačování, tažení drátů.

#### **tváření plošné**

- při kterém převládají deformace ve dvou směrech. Patří sem tažení, ohýbání, stříhání, apod. [4]

## **2.1 Zápustkové kování**

Zápustkovým kovááním rozumíme objemové tváření za tepla, prováděné úderem nebo klidně působící silou. Jedná se o přetržitý způsob a výkovek má požadovaný tvar, příznivou makrostrukturu, výhodnou mikrostrukturu a zvýšené mechanické a fyzikální vlastnosti. Kováním lze zpracovávat téměř všechny kovy. [5]

Zápustkové kování nejenom umožňuje vyrábět tvary požadovaného rozměru, ale zároveň i zlepšovat původní mechanické vlastnosti a strukturu - kování má velký význam nejenom pro tvarování výrobků, ale i pro zlepšení jejich mechanických vlastností (stupeň prokování). Účelem prokování je odstranění nestejnorođe hrubé lici struktury a metalurgických vad u ingotů, které snižují tvárnost a fyzikální a mechanické hodnoty a vlastnosti kovu. [5]

Zápustkové kování slouží k výrobě velkého počtu tvarově stejných součástí z ocelí nebo jiných tvárných slitin. Ohřátý materiál se tváří v dutině zápustky, jejíž tvar je shodný s tvarem výkovku. Rozměry jsou však zvětšeny o hodnotu smrštění vychladlého výkovku. Proti volnému kováání se dosahuje přesnějšího tvaru výkovku. [5]

### **Princip metody zápustkového kováání**

Při zápustkovém kováání se postupuje tak, že se výchozí polotovar, ohřátý na potřebnou kovací teplotu, vloží do dutiny zápustky a působí se na něj tlakem nebo údery tvářecího stroje.

### **Nástroj: zápustka**

Většinou dvoudílný nástroj  $\Rightarrow$  horní část a dolní část zápustky) Horní část zápustky je upnuta k pohybujícímu se beranu bucharu nebo lisu, dolní část zápustky je upnuta na stole bucharu nebo lisu.

### **Druhy zápustek:**

- otevřené,
- uzavřené,
- postupové.

### **Otevřené zápustky**

Materiál je vložen do dutiny zápustky a během kování vyplní dutinu a přebytečný materiál je vytlačován do tvarované mezery mezi horní a dolní zápustkou ( výronková drážka). Tento přebytek se nazývá výronek, který se v následující operaci ostříhne. Výronek během kování klade odpor proti vytékání kovu ze zápustkové dutiny, což podporuje její dokonalé zaplňování a tlumí rázy při vzájemném dosednutí dílů zápustky. [5]

Rozměry zápustkových výkovek se zvětšují o přídavky na opracování a technologické (úkosy bočních ploch do dělicí roviny, zvětšení tloušťek stěn žeber, apod.).

### **Uzavřená zápustka**

Princip kování je stejný jako kování do otevřené zápustky, ale na rozdíl od otevřené nemá výronkovou drážku. Kov dokonale vyplňuje dutinu  $\Rightarrow$  výkovek bez výronku.

Výhody:

- výkovek je kován na hotovo.

Nevýhody:

- kování je technologicky náročnější, protože polotovary musí mít přesný objem jako dutina zápustky,
- zápustky jsou více namáhány, proto mají kratší životnost.

## **Kování v postupových zápustkách**

Při zápustkovém kování záleží počet kovacích dutin na tvaru výkovku, ale též na tvaru výchozího materiálu. Jen zřídka se stane, že k vykování výkovku stačí jedna dutina. Jednotlivé dutiny se často umísťují do společného bloku oceli - nástroje, což je pro práci na bucharu výhodné. Přenášení výkovku z jedné dutiny do druhé netrvá příliš dlouho, výkovek nechladne rychle. V případě složitějších tvarů je tedy nutno kovat ve více dutinách, které zajistí tečení materiálu v dutině zápustky. [5]

## **Konstrukce postupové zápustky**

Postupová zápustka může být někdy konstruována pomocí výměnných tvarových vložek kruhového nebo obdélníkového tvaru  $\Rightarrow$  výrazná úspore materiálu zápustky. V postupové zápustce nejsou dutiny umístěny za sebou podle technologického postupu. Kovací (dokončovací), tj. poslední dutina se umísťuje uprostřed tak, aby její těžiště bylo blízko těžiště celého bloku. To proto, že síla (nebo energie) na kování výkovku je větší, než na kování předkovků. Jednak proto, že výkovek chladne a tedy roste jeho přetvárná pevnost a dále proto, že výkovek včetně výronkové drážky má největší plochu. Ostatní dutiny jsou rozmístěny kolem této dokončovací dutiny. Operace zápustkového kování pak dělíme např. na rozdělování, předkování, kování a odstřížení výronku. Toto rozdělení je nejobvyklejší, avšak není jediné. Během kování je možné výkovek přenášet a do dutin ukládat buď pomocí kleští za zbytek tyče původního materiálu, nebo pomocí robotů a manipulátorů. K oddělení tohoto zbytku slouží utínka, tj. ostrá hrana v pravém dolním rohu. Odstřížení výronku se provádí v jiném nástroji. Předkování se může provádět volně, v zápustkách nebo na kovacích válcích. [5]

Kovací (dokončovací, finální) dutina je opatřena okolo obrysu tvaru výkovku ještě výronkovou drážkou. Její průřez pro zvolený kovací stroj je znázorněn na obrázku. Zúžená část se nazývá můstkem, rozšířená zásobníkem. Funkce výronku je dvojí. Jednak pojmutí přebytečného materiálu, neboť materiál musí dokonale vyplnit dutinu a jednak ovlivnění toku materiálu uvnitř zápustky. Výronek se dodatečně odstraňuje odstřihováním. [5]



## **Stroje pro zápustkové kování**

K zápustkovému kování se používají:

- buchary (kování úderem),
- lisy (kování klidným tlakem).

Dutinu zápustky je možno zaplňovat buď vtlačováním, nebo pēchováním, z čehož pēchování je lepší.

### **Kování na bucharech**

Při kování na bucharech je zápustková dutina vyplňována postupně během několika úderů beranu. Při konstrukci zápustkových bloků je důležitou částí řešení způsob upnutí zápustky na kovací stroj (buchar). Rázy při kování totiž velmi snadno upevnění zápustek povolují. Pro buchary se zápustka opatřuje s úspěchem rybinou a upíná se pomocí pera a klínu. [5]

### **Kování na lisech**

Tím se rozumí obvykle kování na svislých klikových lisech, vhodné pro velké série a jednodušší tvary výkovků. Zápustky mají jiný způsob upínání a konstrukce než na bucharech. Upínají se pomocí stopek, šroubů a příložek. Výkovky mohou mít menší úkoso ⇒ na lise je možno použít vyhazovačů, hlubší místa zápustkové dutiny se umísťují v dolní zápustce ⇒ částice kovu se při kování na lisech rychleji pohybují ve směru pohybu lisu a rychleji vyplňují dolní zápustky. [5]

Výkovky se často sdružují ve vícenásobných dutinách ⇒ po vykování výkovky drží spolu za výronek, takže k jejich oddělení dojde po odstřižení výronku. Kovat lze též na třecích lisech. Jedná se převážně o výkovky rotačních tvarů, kovaných ve svislé poloze. [5]

### **Pravidla, která platí v zásadě pro složitější výkovky**

- V jedné dutině se nesnažíme deformovat kov v příčném i podélném směru současně,
- rozdělení materiálu v podélném směru provedeme dříve než ve směru příčném,
- tvar předkovku navrhujeme tak, aby při kování docházelo k posuvu částic v příčných řezech a předkovek měl rotační tvar. [5]

### **Konečné úpravy výkovků**

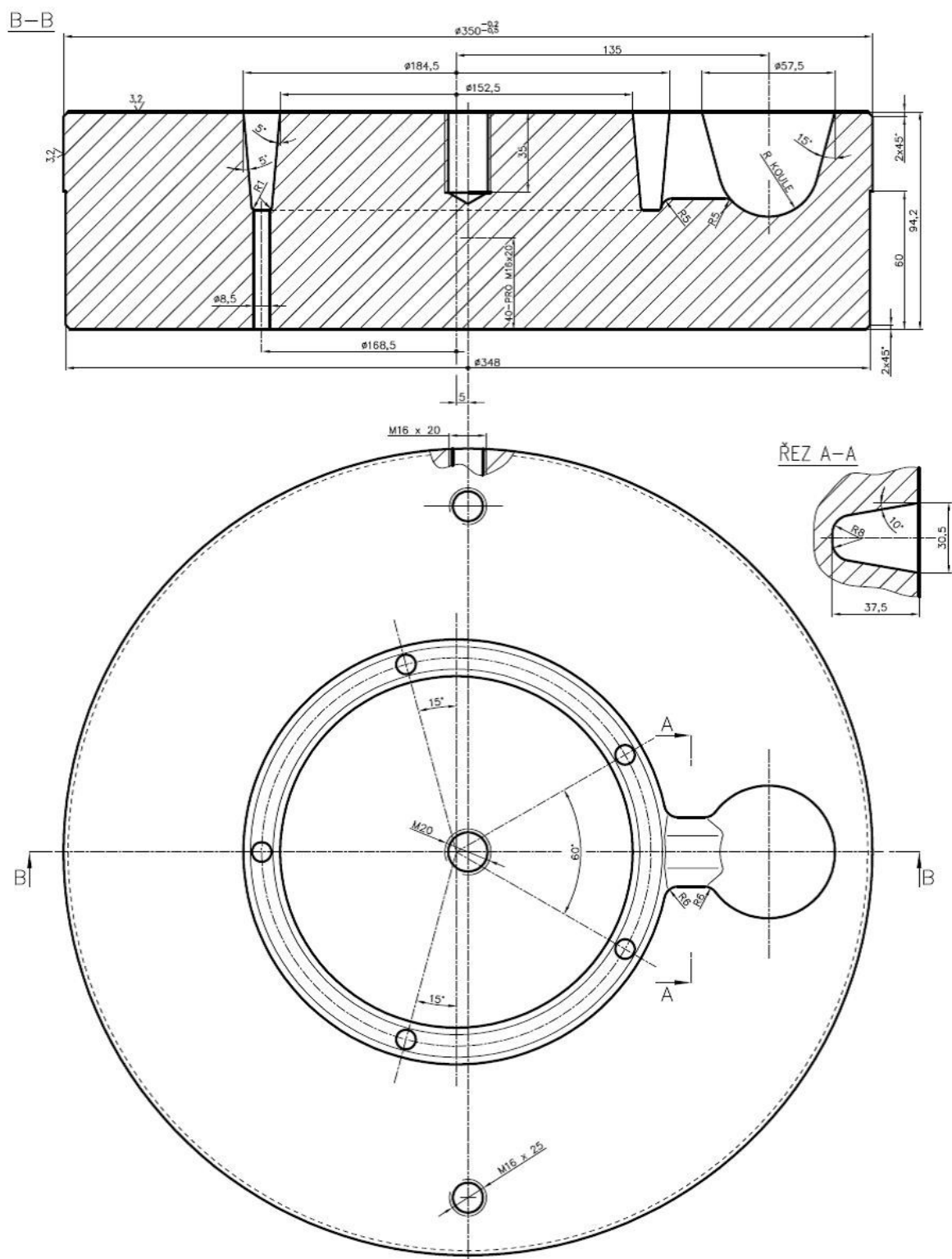
Konečné úpravy výkovků jsou:

- odstřížení výronku, popř. prostřížení blan v otvorech,
- rovnání výkovku, výkovek se zbavuje okují (moření, otryskávání),
- tepelně zpracovává (normalizační žíhání) nebo za studena kalibruje.

## **2.2 Vývoj prototypu polotovaru**

První prototypy odlitků do zápustek byly vyrobeny technologií odstředivého lití. Později se jako velmi vhodná varianta výroby polotovaru pro mosazné klece ukázalo tzv. gravitační lití do kokily. Tato varianta je velmi jednoduchá a cenově nejlevnější z hlediska technologie výroby. Výhodou kovových forem k tomu určených je, že jsou trvalé, vhodné pro sériové výroby. Materiálem bývá obvykle ocel nebo litina. Pro zamezení přímému styku kokily a tekutým kovem a tím zvýšení životnosti se galvanicky pokovuje jejich líc. Výhodou této metody je tvarová a rozměrová přesnost odlitků. Odlitek má jemnozrnnou strukturu (následek rychlého ochlazení), což je vhodné pro následnou technologii kování.

Konstrukce náradí byla navrhována dle historických zkušeností firmy Kovolit Modřice, a.s., za dohledu pana Ing. Karase. Zvažilo se několik variant podob kokily a pečlivě byla vybrána její tvarová složitost včetně technologických přídavek.



**Obr. 2.1** Náskres formy kokily

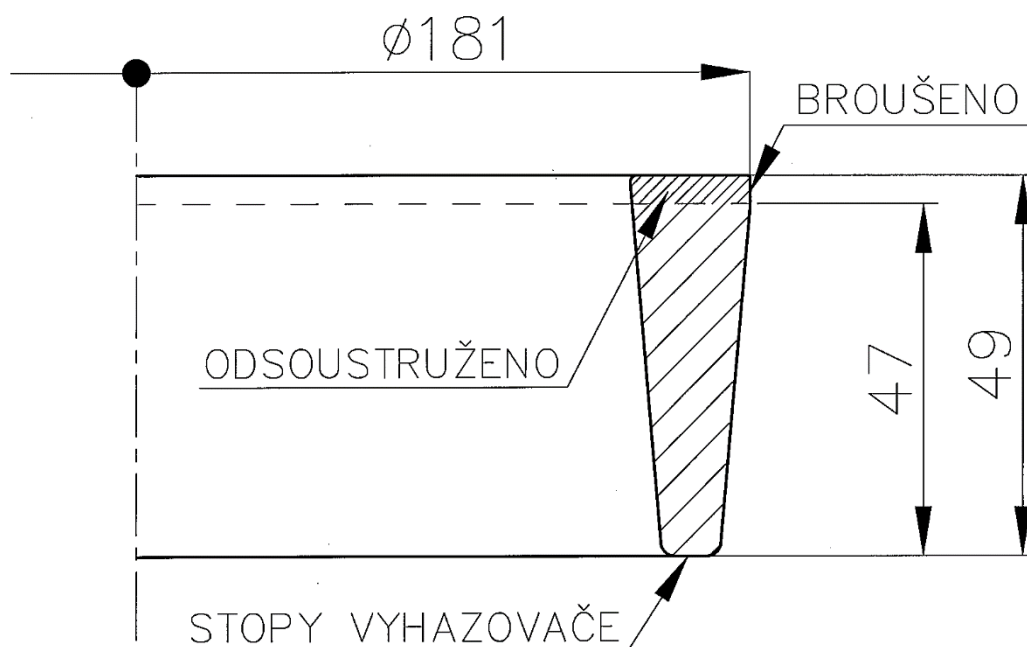
Prototypy odlitků byly zhotoveny ve firmě Kovolit Modřice, a.s. Použitý materiál byl Ms58Al.

Chemické složení polotovaru:

Norma	Materiál	Chemické složení										
		Cu	Sn	Pb	Sb	Al	Mn	Fe	Si	Ni	Zn	neč.
TP 18.13-4-66	Ms58Al	57,0 60,0	0,7	2,0	+As 0,2	0,05 0,25	0,25	0,7	P 0,05	0,5	zb.	3,5

**Tab. 2.1** Chemické složení polotovaru

Po zhotovení polotovaru bylo provedeno odstříhnutí nálitku. Dále z hlediska správnosti technologie a minimalizaci možných vad během kování docházelo odstranění vrchní vrstvy soustružením, kde je velká pravděpodobnost vzniku pórů, strusky a nehomogenity materiálu vlivem nežádoucích lehkých prvků. Dále bylo provedeno osoustružení na zápusťkový rozměr.



**Obr. 2.2** Schématický řez odlitkem

Na obrázku níže se nachází prototyp gravitačního odlitku bez dalších technologických úprav. Můžeme pozorovat stopy vyhazovače.



**Obr. 2.3** Nepracovaný gravitační odlitek

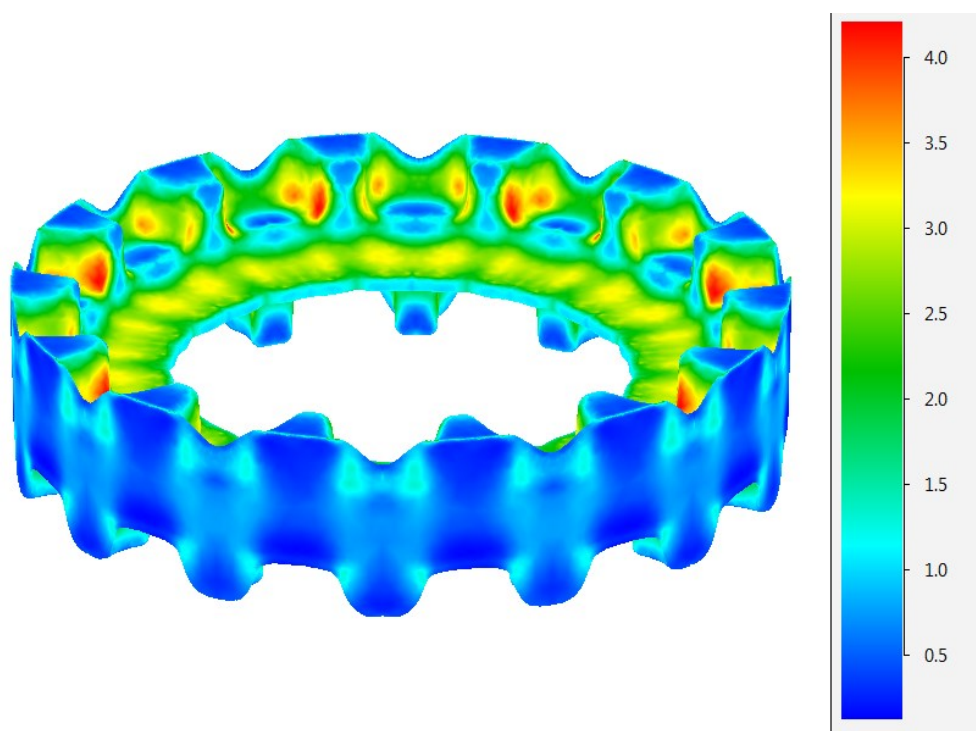
### **Konstrukce zápustek**

Tváření zubů do GL odlitku bylo prováděno zápustkovým kovááním. Konstrukce zápustky byla navržena dle historických zkušeností se zápustkovým kovááním pro firmu ZKL Hanušovice. Jelikož správnost konstrukce a chování materiálu při tváření bylo odhadováno a experimentálně navrženo, oslovili jsme Vysokou školu báňskou – Technickou univerzitu v Ostravě pod vedením prof. Ing. Jiří Hrubého, CSc. z ústavu tváření, která disponuje nejnovější verzí programu QForm 7 s plnou šíří potřebných modulů pro analýzu tváření všech materiálů a namáhání zápustek, aby za spolupráce studentů zjistili průběh tváření při kováání klecí a analyzovali možné problémy či vady, které by mohli v materiálu při nesprávně navržené zápustce vzniknout. Přitom je zapotřebí vyšetřit možná vnitřní napětí, která v klecí vznikají a pokusit se nastavit optimální kovací podmínky pro zamezení vzniku těchto trhlin.

## Experimentálně zjištěné optimální podmínky kování klecí 22326 a 22328 EMH-4

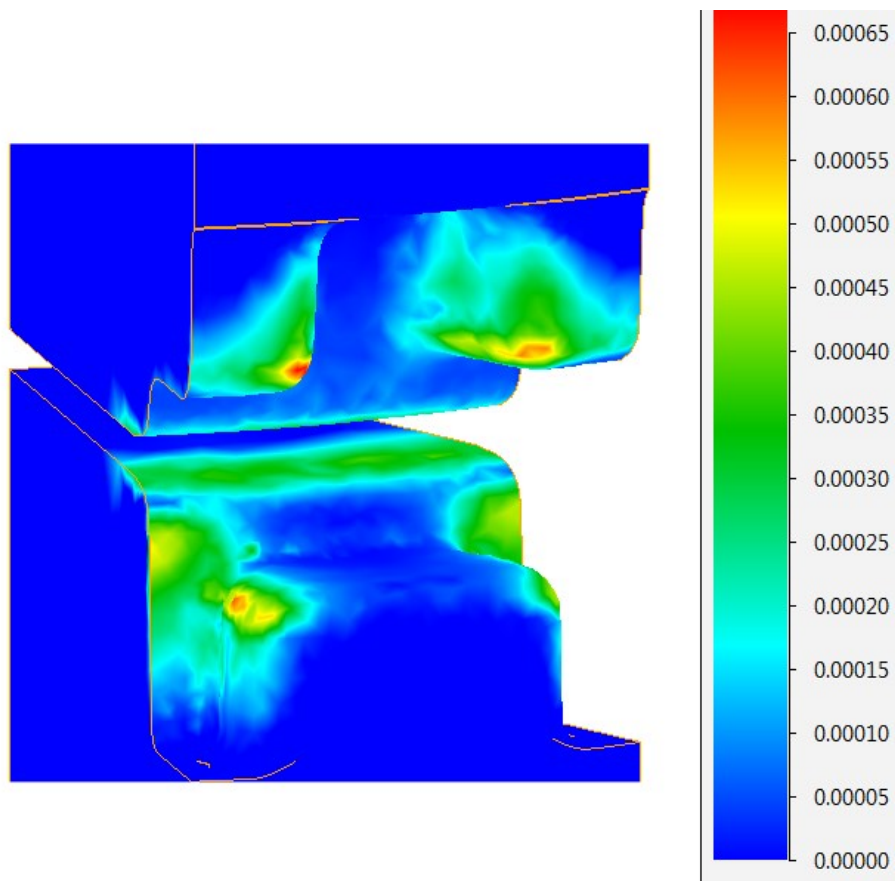
- Údaje o stroji: Vřetenový frikční lis LF 350  
- kovací síla udávaná výrobcem = 3500 kN.
- Teplota zápusťky:    horní jádro cca 150 °C,  
                                     spodní jádro cca 180 °C.
- Zápusťka je vyrobena z materiálu 1.2343 kaleno a popuštěno na 46 HRC +/- 1
- Teplota vloženého polotovaru = 720 +/- 30 °C
- Polotovar je vložen užším koncem nahoru.
- Jako mazadlo je použit vodou ředitelné grafitové mazadlo Acheson v poměru 1 : 20 s vodou, nanášeno vzduchovou stříkací pistolí

Na obrázcích níže uvedena analýza toku materiálu v programu QForm.



*Obr. 2.4 Efektivní deformace [1]*

Maxima deformací se soustřeďují v místech zubů. Lze tak předpokládat příznivý vývoj finální jemnozrné struktury materiálu vedoucí k její vyšší homogenitě ve srovnání s operacemi obrábění nekovaného odlitku.

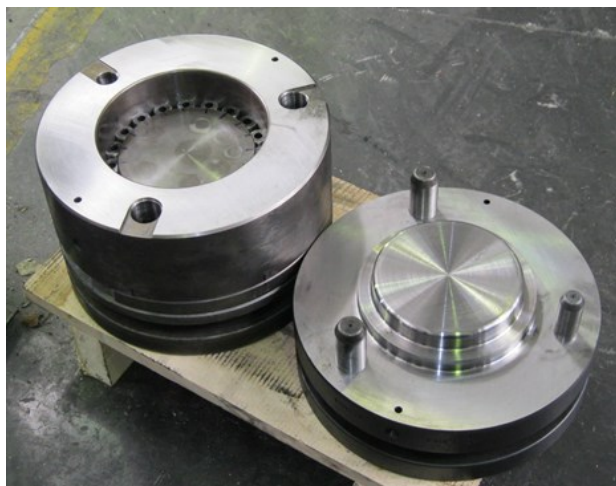


**Obr. 2.5** Simulace opotřebení nástrojů

Vlivem přetvárných odporů a dochází k opotřebení nástroje. Obrázek číslo 2.5 znázorňuje největší opotřebení nástroje na hranách zubu, kde dochází k největšímu přetváření hmoty polotovaru.

Po aplikovaném výzkumu a experimentálním vývoji byly následně vyrobeny zápustky pro kovací lisy. Zápustky byly konstruovány pro stroj č. 14, LF 350.

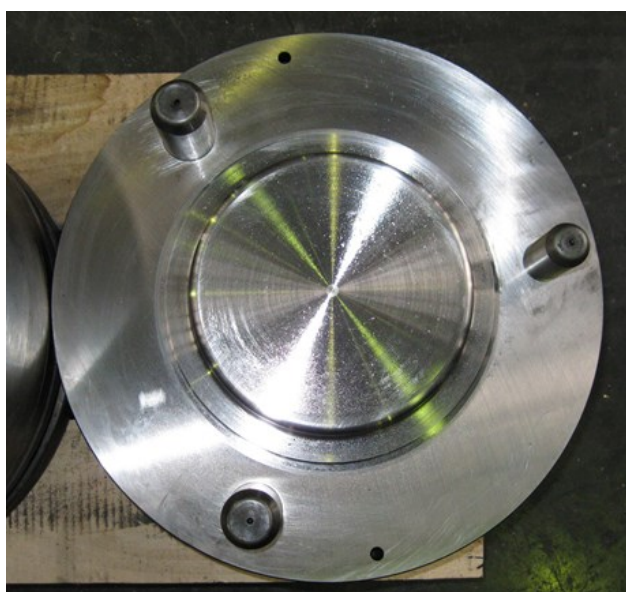




***Obr. 2.6 Kovací souprava***



***Obr. 2.7 Spodní díl zápustky – zuby tvořené jádry a vyhazovači***



***Obr. 2.8 Horní díl zápustky – výměnné jádro pro možnost kování i horních zubů***





*Obr. 2.9 Vykovaný mosazný polotovár*

## **2.2 Alternativní technologie obrábění**

Obrábění výkovků bude probíhat, stejně jako u odstředivě litých odlitků, na CNC obráběcích centrech OKUMA Multus. První myšlenky byly směřovány k tomu, že bude možné zvýšit řezné podmínky u vrtání kapes, a to z toho důvodu, že fréza již nebude zavrtávat a rozjíždět kapsy do plného materiálu, ale bude pouze obrábět přídavky. Ovšem jak se později ukázalo, docházelo k jevu nám již známému z minulosti, tj. “šízení řezných drah“. Stroj je optimalizován na horní hranici. Pokud tuto hranici překročíme a zvýšíme zejména rozjížděcí posuv, který opisuje dráhu “S“, stroj má tendenci si dráhu v obloucích zkracovat (tzv. šidit) a to nepřípustně ovlivňuje geometrii kapsy. Jednali jsme o tomto problému se zástupci firmy OKUMA, kteří o tomto jevu ví. Jev by se dal odstranit dokoupením licence, ovšem vedení firmy zamítlo investovat nemalé finanční prostředky do neověřené technologie s nejistým výsledkem. Polotovary vyrobené zápusťkovým kovááním byly tedy obráběny stejnými řeznými podmínkami jako polotovary plné, ovšem je zde značná úspora řezných drah. Bulo nutné upravit upínací čelisti stroje. U odstředivě litých polotovarů, což byly plné prstence, nezáleželo na natočení těchto prstenců. Kdežto u výkovků je velmi důležité přesné ustavení obrobku. Vzhledem k minimálním přídavkům na obrobení v kapsách by drobné pootočení, tedy vyosení ze středu kapsy znamenalo, že by na jedné straně kapsy došlo k velkému úběru materiálu a na straně druhé by mohla zůstat neobrobená plocha. Vzhledem k vysoké ceně polotovarů je třeba chyby v ustavení obrobku minimalizovat a proto bude na čelistech dorážecí čep, který zajistí opakovaně stejné usazení.

### **3 Analýza technologických parametrů navržené technologie**

Od ložisek se očekává vysoká statická a dynamická únosnost. Statická a dynamická únosnost závisí na velikosti valivého elementu. Z tohoto důvodu se v ZKL používají jednodílné mosazné klece. Středová příčka těchto klecí je totiž v porovnání s dvoudílnou masivní klecí užší a umožňuje tak použití delších valivých elementů a tím i zvýšení únosností. Mosazné klece jsou obecně ve srovnání s plechovými klecemi odolnější proti nestandardním podmínkám, jako jsou vibrace, rázy a další. Toto způsobuje jejich delší životnost.

Mosaz s obsahem 56 – 59 % vykazuje nejpříznivější kombinaci pevnosti, tažnosti, tvrdosti, ceny a její mechanické vlastnosti vyhovují, což je dlouhodobě ověřeno.

### **3.1 Analýza mosazných materiálů**

Firma ZKL používá na výrobu klecí mosazi typu Ms58Al a Ms59Al. V rámci projektu byla provedena analýza materiálů s potenciálně použitelnými mosazemi. Výběr materiálů se zaměřoval na mosazi potenciálně použitelné pro mosazné klece a na materiály konkurenčních výrobců ložisek.

Byly vybrány tři druhy mosazných materiálů, a to:

- CuZn35Mn3Al2Si - tzv. SiMnAl,
- CuZn40Pb2 - tzv. indie,
- Ms58Al - mosaz ZKL.

Všechny tři druhy materiálů nám dodala firma Kovolit Modřice, a.s. Jedná se o oboustranně kované polotovary.

Rozhodli jsme se sledovat několik parametrů, jako jsou:

- cena,
- chemické složení polotovarů,
- měření tvrdosti,
- prokovatelnost,
- obrobitelnost
- a metalografie.

#### **Cena jednotlivých polotovarů**

Celková cena mosazného polotovaru se skládá ze dvou složek. První složkou je cena za kg mosazné slitiny a druhou složkou je cena práce. Cena práce zůstává stejná, a jelikož přísadové prvky jsou vzhledem k objemu mědi a zinku značně v menšině, cena výsledné slitiny se téměř nemění. Pro další hodnocení se tedy otázka ceny polotovaru jeví jako zcela nepodstatná.

## Chemické složení jednotlivých polotovarů

Chemické složení jednotlivých polotovarů nám zajistila firma Kovolit, která měřila množství jednotlivých prvků v tavenině přístrojem Spectrosort spark.

CuZn35Mn3Al2Si - "SiMnAl"							
Prvek	Cu	Al	Mn	Si	Zn	Pb	Fe
Předepsáno v %	57 - 60	1,5 - 3,0	2,0 - 4,0	0,6 - 1,0	zbytek	max 0,35	max 0,25
Naměřeno v %	58,4	1,98	2,02	0,73	33,3	0,22	0,18

**Tab. 3.1** Chemické složení slitiny CuZn35Mn3Al2Si

CuZn40Pb2 - "indie"								
Prvek	Cu	Al	Mn	Si	Zn	Pb	Fe	Ni
Předepsáno v %	57 - 59	max 0,05	-	-	zbytek	1,6 – 2,5	max 0,3	max 0,3
Naměřeno v %	59,5	0,0005	0,0005	0,0005	38,4	1,87	0,078	0,003

**Tab. 3.2** Chemické složení slitiny CuZn40Pb2

Ms58Al - "mosaz ZKL"									
Prvek	Cu	Al	Mn	Si	Zn	Pb	Sn	Fe	Ni
Předep. v %	57 - 60	0,05 - 0,25	max	max	zbytek	max	max	max	max
Naměř. v %	58,9	0,14	0,11	0,039	38,4	1,82	0,2	0,26	0,003

**Tab. 3.3** Chemické složení slitiny Ms58Al

## Měření tvrdosti

Měření tvrdosti probíhalo na výkovech před obrobením i po obrobení, a to na plášti a na dně kapsy vždy na třech místech.

### Výsledky měření jednotlivých slitin v HB:

SiMnAl	výkovek			obrobek		
Plášť	136	135	132	130	133	135
Na dně kapsy	132	134	130	127	124	125

*Tab. 3.4 Tvrdost slitiny CuZn35Mn3Al2Si*

Indie	výkovek			obrobek		
Plášť	101	98	98	92	91	92
Na dně kapsy	98	100	102	90	93	92

*Tab. 3.5 Tvrdost slitiny CuZn40Pb2*

ZKL	výkovek			obrobek		
Plášť	100	98	106	89	90	94
Na dně kapsy	97	99	99	83	82	85

*Tab. 3.6 Tvrdost slitiny Ms58Al*

Jak je z výsledků zřejmé, potvrdilo se, že slitina SiMnAl je velice tvrdá. U slitin „ZKL“ a „Indie“ došlo po obrobení svrchní zpevněné vrstvy k poklesu tvrdosti.

## Prokovatelnost

Zkouška kování probíhala ve firmě Kovolit v Modřicích. Hodnocení prokovatelnosti se vztahuje k nám již známému materiálu Ms58Al.

### Materiál SiMnAl (CuZn35Mn3Al2Si):

Porovnání provedeno při finální zkoušce výkovku V13 234 (223 40 EMH-4). Odlití předlitku pro kování proběhlo standardně bez výrazných rozdílů. Osoustružení na zápusťkový rozměr bylo značně obtížnější – materiál je tvrdší, má větší řezný odpor a tendenci pružit při upnutí. Dále se velmi obtížně odhaduje teplota ohřevu – při vyšší teplotě se rozpadá.

Na poměru velikosti výronku a nedokování je zřejmé, že materiál má větší přetvárný odpor oproti Ms58Al a menší zabíhavost (schopnost vyplnění tvaru dutiny je nižší). Zuby zůstaly nedokovány. Malý výronek způsobuje problémy při prostřihování. Velký přetvárný odpor může také způsobit destrukci zápusťky.



***Obr. 3.1 Nedokované zuby***



***Obr. 3.2 Výkovek s malým výronkem***

Po vykování zůstává ve výkovku jisté pnutí a následná deformace – zjištěno při děrování. Podle uložení do matrice děrovačky je možné usoudit, že smrštění bylo větší než u Ms58Al. Příčinou může být rychlé vyhození, které probíhalo snadněji.

#### Materiál Indie (CuZn40Pb2):

Porovnání provedeno na zápusťce výkovku V13 214 (232 24 EMH-4) – z důvodu snazší manipulace. Příprava taveniny a odlévání s sebou nese obtíže při odlévání. Absence Al se musí eliminovat zvýšenou teplotou taveniny, jelikož materiál hůře teče. Obtížněji se udržovala i teplota taveniny, z čehož plyne:

- obtížná manipulace s materiálem při odlévání,
- vložka udržovací pece se bude rychleji opotřebovávat,
- větší energetická náročnost.

Osoustružení proběhlo bez odlišností oproti Ms58Al. Kování bez viditelné odlišnosti, byla potřeba mírně menší kovací síla – pouze subjektivní dojem. Po vyhození došlo



k odpadávání výronků v HD. Hrozí nebezpečí, že výronky budou zakovány do dalšího kusu – vzniká neshodný kus. Operace je tedy náročnější na udržení čistoty kovací dutin. Děrování probíhalo standardně jako u Ms58Al.



*Obr. 3.3 Upadané zástříky na polotovaru*

### Materiál Ms58Al

Materiál srovnáván dle zkušeností z předchozích zkoušek kování, dále v bodě 3.1 Zkouška kování.

### **Obrobitelnost**

Zkoušky obrobitelnosti probíhaly na strojích SPL a OKUMA. Na stroji SPL bylo hrubě osoustruženo čelo a vnější plášť výkovku, poté došlo k otočení výkovku a bylo obrobena druhé čelo a vnější plášť na výkresový rozměr. Na stroji OKUMA došlo k celkovému obrobení dle výkresové dokumentace.

### Materiál SiMnAl (CuZn35Mn3Al2Si)

Soustružení tohoto materiálu bylo obtížnější. Materiál má velký řezný odpor a značnou tvrdost. Při obrábění docházelo k velkému tepelnému zatížení řezného břitu. Vlivem toho i samotná mosaz při obrábění více červenala na povrchu, což se odstranilo bubnováním. Díky pružení měl polotovar tendenci vypadnout z upínacích čelistí. Vzhledem k nedokování zubů vlivem velkého přetvárného odporu hrozí i reálné riziko, že na obrobené kleci mohou zůstat neobrobené plochy zubů vlivem chybějícího materiálu.



***Obr. 3.4*** Obrobená klec z materiálu CuZn35Mn3Al2Si

Díky vyšší tvrdosti se mosaz při obrábění tolik “nemazala” a povrch obrobených kapes vypadal mnohem lépe, což lze pozorovat na obrázku 3.5.



***Obr. 3.5 Detail obrobené kapsy***

Materiál Indie (CuZn40Pb2):

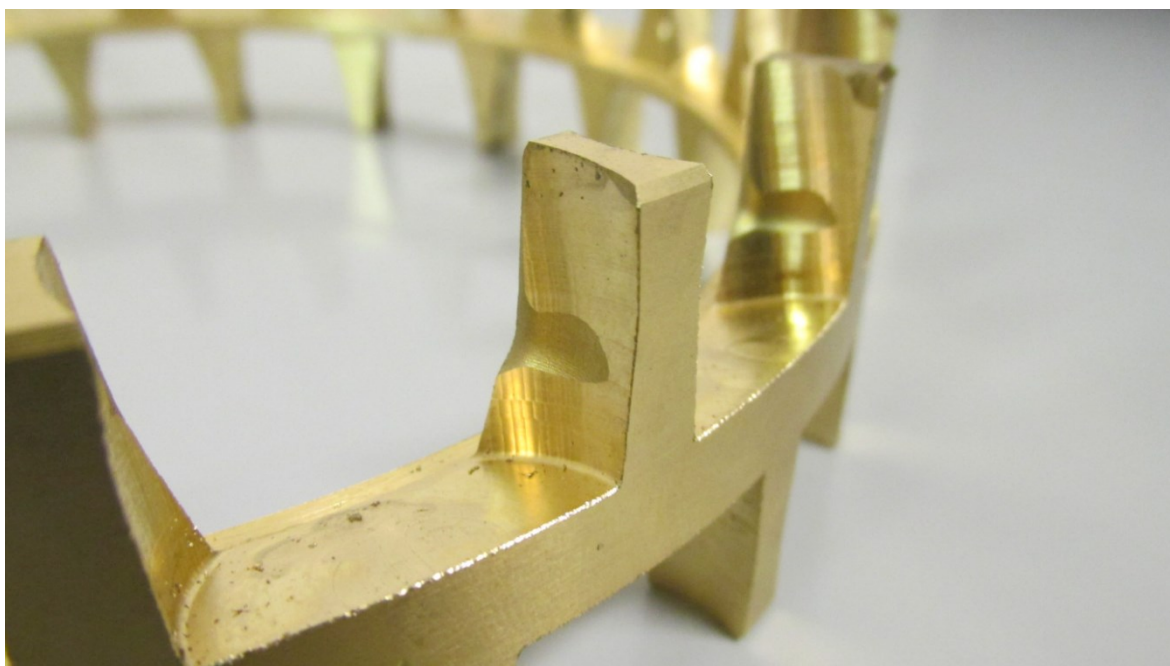
Materiál CuZn40Pb2 se obráběl standardním způsobem jako Ms58Al. Docházelo ovšem k obtížnému ustavení obrobku a v kapsách zůstávaly neobrobené plochy. To poukazuje na vyšší smrštění při chladnutí oproti materiálu Ms58Al. Muselo by tedy dojít k úpravě kovacího nářadí.

Obrobená klec se nachází na obrázku 3.6 a detail neobrobené plochy na stěně kapsy na obrázku 3.7.





***Obr. 3.6*** Obrobená klec z materiálu CuZn40Pb2



***Obr. 3.7*** Detail neobrobené kapsy

Z technologického hlediska nezbyvá než konstatovat, že slitina SiMnAl je pro výrobu mosazných klecí nevhodná. Dosahuje sice výborné pevnosti a tvrdosti, ale kování a obrábění způsobuje značné obtíže. Největší je malá pevnost zápustky. Bylo by nutné snížit tvářecí tlak za cenu nestabilních velkých přísad na obrábění.

Slitina CuZn40Pb2 (indie) vykazuje podobné vlastnosti jako slitina Ms58Al. Mají velice podobnou tvrdost a obdobně se chovají i při obrábění. Co se kování týče, bylo by nutné odstranění zástříků, tedy úprava náradí, nebo nové kovací náradí. Nebyly provedeny zkoušky trvanlivostní, zkoušky únosnosti atd, nelze tedy zaručit, že by tato mosaz byla vhodná pro výrobu mosazných klecí. Vzhledem k finanční a hlavně časové náročnosti při dlouhodobých praktických zkouškách, kdy dosud není známa jakákoli finanční úspora, ba naopak, nelze tento materiál označit jako přínosný pro výrobu klecí v ZKL.

### 3.2 Kovací zkouška

Zkoušky kování probíhaly ve firmě Kovolit Modřice. Ke zkoušce byl použit typorozměr klece typu 223 28 EMH. Použitým polotovarem byl předlitek Ms58Al z kokily V10 400 o váze cca 5,1 kg. Zkouška byla prováděna v uzavřené záпустce s vnitřním výronkem.

#### **Nářadí:**

Použité nářadí: V13 233

Kontrolní rozměr přes DR: 60 +1,3/-0,6 mm

Vnitřní blána: 3 mm

Teplota nářadí: SD cca 120°C, HD cca 105°C

#### **Stroj:**

Č. 14 – LF 350

#### **Polotovar:**

Ms58Al

Chemické složení v %:

Prvek	Cu	Al	Mn	Si	Zn	Pb	Sn	Fe	Ni
Předepsáno	57 - 60	0,05 - 0,25	max	max	zbytek	max	max	max	max
Naměřeno	58,9	0,14	0,11	0,039	38,4	1,82	0,2	0,26	0,003

**Tab. 3.7** Chemické složení slitiny Ms58Al

V oblasti stříhu nebylo provedeno žádné broušení. Polotovary byly soustruženy na čele, a to na výšku 52 mm. Na obrázku číslo 3.8 lze vidět stopu po vyhazovači, která činila cca -1,4 mm.



***Obr. 3.8*** Stopa po vyhazovači

Ohřev probíhal v plynové peci (obr. 3.10), která se nacházela přímo u lisovacího stroje. Byly ohřívány 1 – 2 kusy současně se 100% kontrolou dotykovým teploměrem.

Ukládání do zápustky bylo stopami po vyhazovači nahoru, tedy širší stranou polotovaru dolů.



***Obr. 3.9*** Ohřev v plynové peci

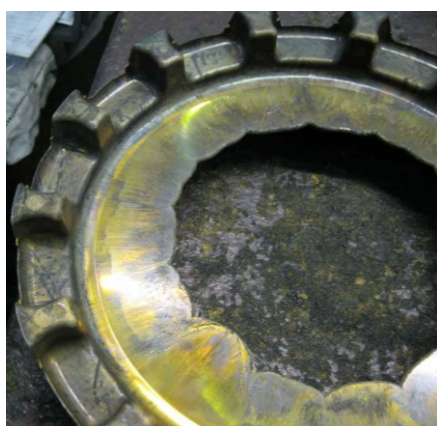


***Obr. 3.10*** Uložení polotovaru v zápustce



## Vzorek č. 1 a 2

Polotovary byly uloženy do zápusťky stopami vyhazovače směrem nahoru s uložením na střed. Do zápusťky šel zcela volně, bez použití síly. Oba polotovary byly přesoustruženy na výšku 52 mm s váhami 5,105 a 5,080 kg. Rozměr přes dělicí rovinu činil 60,45 mm (výkres 60 mm). Oba kusy vyznačovaly dobré dokování na obou stranách zubů s přijatelným otřepem mezi zuby. Vnitřní výronek byl celistvý s tloušťkou blány 3,55 mm (výkres min. 3 mm).



**Obr. 3.11** Vzorek výkovku, SD



**Obr. 3.12** Vzorek výkovku, HD

Na výkovku byly v oblasti horní dutiny patrné známky propsání stopy vyhazovačů, viditelné na obrázku č. 3.13 a 3.14. Bude nutné ověřit při obrábění, že se jedná pouze o povrchový znak.



**Obr. 3.13** Propsání vyhazovače



**Obr. 3.14** Propsání vyhazovače



V horním dílu na koncích zubů docházelo k zástřiku mezi vedením spodního dílu a jádrem usazeným v horním dílu. Tento zástřik se při odjetí horního dílu odlomil a zůstal ležet na výkovku a ve spodním dílu hrozí riziko, že může být zakován do dalšího kusu. Práce je náročnější na čistotu prostoru v zápustce.

Příčinou odlomení je rozdílná teplota dílů zápustky, která se projevuje během kování. S nárůstem velikosti zápustky, průměru a hmotnosti výkovku se rozdíly teplot zvětšují.



*Obr. 3.15 Zahřátý výkovek v zápustce*

Je zřejmé, že zbytky mohou spadnout do dutiny tvaru a dojde tak k zakování zbytku do dalšího kusu, což způsobí obtížně identifikovatelný neshodný kus (zmetek).

#### **Vzorek č. 3 a 4**

Vzorek č. 3 a 4 byl vysoký 50 mm a vážil 4,815 a 4,900 kg. Při kování byly uloženy stopami po vyhazovači nahoru. Výkovky lze prohlásit za dokované a shodné, ovšem již by zde mohlo v provozu hrozit riziko nedokování a deformací.

## **Závěr kovací zkoušky**

Na základě těchto výsledků bude optimalizován rozměr předlitku na rozměry:

- DR: 59,85 – 59,9 mm,
- blána 2,82 – 2,76 mm,
- výška 51 mm

Optimální váha předlitku je 5kg +0,1/-0,05 kg.

Dále je nutné do budoucna uvažovat o modifikaci horního zástříku. Problém bude u větších klecí eskalovat. Nejvhodnější bude jeho řízená tloušťka tak, aby byl celistvý.

### 3.3 Děrovací zkouška

Zkouška děrování mosazných výkovků byla provedena na typorozměru klece 223 28 EMH. Použitým polotovarem byl výkovek Ms58Al, z náradí V13 233 – uzavřená zápustka s oboustrannými zuby, o váze cca 5,1 kg.

Komponenty děrovadla byly vsazeny do upraveného komerčního stojánu firmy FIBRO. Stojánek prošel zesílením podkladové desky a děrovací elementy byly vloženy do osazených držáků. Stojánek je schopen pojmout děrování až do rozměru 223 28 včetně.



***Obr. 3.16** Děrovací stolice*

Maximální velikost, kterou stojánek pojme, je výkovek pro klec 223 28 včetně z náradí V13 223. Rozměrově tedy:

- vnější průměr 246 mm,
- vnitřní průměr 203 mm,
- děrováno na průměr 185 mm.

Při děrování větších rozměrů (např. 223 30) docházelo k vytažení stopky z beranu. Jelikož nelze dát větší stopku než průměr 65 mm, je nutné v horní desce stojánku vyrobit vybrání pro upínky (stačí dvě do kříže), aby bylo možné bez problému používat daný stroj. Nyní se při děrování větších rozměrů používá redukční pouzdro na stopce a držení tedy není dostatečné.

### **3.4 Zkouška obrábění**

Zkouška obrobení oboustranně kované klece probíhala na typorozměru klece 223 40 EMH. Výkovky byly nejdříve soustruženy na stroji SPL, kde byl s přídavkem soustružen plášť pro lepší uchycení do čelistí obráběcího centra OKUMA.

Následně byly osoustružené výkovky soustruženy a frézovány v obráběcím centru OKUMA.

#### **Vyhodnocení**

Náměry kruhovitostí po soustružení pláště na stroji SPL:

- 0,200
- 0,170
- 0,306
- 0,262
- 0,299

Klece obrobené na OKUMĚ vykazovaly vyšší kruhovitost, než dovoluje výkresová dokumentace. Toto je způsobeno vyšší kruhovitostí osoustružených obrobků ze stroje SPL. Hodnoty kruhovitostí obrobených klecí se pohybovaly v rozmezí 0,2 až 0,3 mm. Výkres povoluje kruhovitost do 0,1 mm.

Během obrábění se ukázaly přídavky na obrábění v kapsách jako nedostačující. Při správném ustavení kusu do čelistí je kus obroben v pořádku, na čisto (obr. 3.17).



***Obr. 3.17*** Správně obrobená klec

Ovšem správné ustavení obrobku je složité a při drobném posunutí v čelistech v kapsách zůstávají stopy neobrobených ploch a vzniká neshodný kus (obr. 3.18).



***Obr. 3.18*** Neobrobené stopy v kapse



**Obr. 3.19** Čelní pohled na přídávky v kapse při částečném obrobení kapsy

### Návrh řešení

Navrhuji změnit technologický postup obrábění na SPL za účelem zlepšení kvality obrobeného povrchu – nižší kruhovitosti. Navrhuji hrubovat čelo a plášť, poté otočit a obrobit na čisto druhé čelo a plášť.

Při řešení problematického přídávku přicházejí v úvahu dvě možnosti. Jedním řešením jsou čelisti s dorazovým kolíkem. Druhé řešení je přebroušení kovacího náradí, tak, aby byl přídavek větší. Částka předpokládaná na opravu náradí je cca 100 000 Kč.



#### **4 Technické a ekonomické hodnocení obou variant**

Předchozí technologie výroby mosazných klecí se jevila jako velmi dobrá, ovšem později se vlivem konkurenčního boje tato technologie jevila jako ekonomicky neefektivní.

Výroba z plných prstenců měla své výhody, a to:

- nedocházelo k deformacím po obrobení,
- žádné problémy s kruhovitostí,
- snadné upnutí polotovaru,

ale i nevýhody, mezi které patří:

- polotovary větších průměrů byly pro obsluhu velmi těžké,
- neefektivita výroby – cca 80% materiálu prstence se obrobilo v třísky,
- velký počet řezných drah,
- velký počet mosazných třísek – nákladná doprava.

Výroba klecí z polotovarů vyrobených zápusťkovým kovááním je sice problematičtější, ale zvládnutelná a značí příslib v původním záměru – zvýšit efektivitu výroby a hlavně konkurenceschopnost na domácím i světovém trhu v oblasti velkorozměrových a speciálních ložiskách.

Mezi výhody nové technologie lze uvést například:

- mnohem levnější polotovar,
- menší počet řezných drah,
- lehčí polotovary.

Nevýhodami jsou:

- složitější ustavení obrobku v obráběcím stroji – lze vyřešit dorážecím čepem,
- možnost deformace klece po obrobení – optimalizuje se,
- vyšší hodnoty kruhovitosti – optimalizuje se.



## Ekonomické hodnocení na vybraných typech klecí

Inovativní konstrukce polotovarů šesti oboustranně zubatých výkovků vykazovalo velice uspokojivé výsledky. Byly voleny dostatečné přídavky na obrábění pro zajištění sériové výroby. Z ekonomického hlediska výroby klece vychází velmi pozitivně.

Kilogramový ceník polotovaru:

- Slévárny Vítkovice, a.s. – 183,50 Kč,
- Kovolit Modřice, a.s. – 170 Kč.

Akciová společnost Kovolit Modřice je schopna nám nejen dodávat polotovary za nižší kilogramovou cenu, ale hlavní úspora je v celkově lehčím polotovaru, viz tabulka níže.

### Vyrobené prototypy TPRM a jejich zhodnocení:

TPRM	Váha plného odlitku	Váha výkovku	Úspora mat	Úspora ceny	Návratnost v nářadí
22326EMH-4	5,73kg	3,5kg	2,23kg	412,- Kč	Po 500 ks
22328EMH-4	9,65kg	4,6kg	5,05kg	934,- Kč	Po 215 ks
22340EMH-4	23,6kg	9,2kg	14,4kg	2664,- Kč	Po 112 ks
22219EMH-4	1,2kg	0,7kg	0,5kg	103,- Kč	Po 1942 ks
22220EMH-4	1,4kg	0,8kg	0,6kg	123,- Kč	Po 1626 ks
22222EMH-4	1,9kg	0,9kg	1kg	199,- Kč	Po 1005 ks

**Tab. 4.1** Váhové a finanční zhodnocení jednotlivých typorozměrů

Jak je z tabulky zřejmé, velmi vysokých úspor se dosahuje u velkých klecí, kde je výsledná váha téměř třetinová, ovšem i menší klece vykazují velmi uspokojivé výsledky.

## 5 Závěr

Předmětem diplomové práce byla realizace nové technologie výroby mosazných polotovarů pomocí zápustkového kování. Na samotném začátku byla provedena analýza současného stavu výroby klecí z mosazných prstenců. Dále se práce ubírala směrem k nové technologii, tedy k zápustkovému kování. Ve spolupráci s firmou Kovolit Modřice, a.s., byl vyvíjen prototyp mosazného odlitku pro následné kování v zápustce. Bylo nakresleno několik variant kokil, ovšem technologie gravitačního lití se jevila jako nejlepší. Samotné kovací nářadí prošlo několika úpravami, než se dostavil potřebný výsledek. Postupným zdokonalováním zápustky se docílilo optimálních přídavek pro obrábění.

V rámci práce byla také provedena analýza mosazných materiálů, kdy byly vybrány další dva typy mosazného materiálu používaných konkurencí. Po rozsáhlém zkoušení těchto materiálů se došlo k závěru, že nejsou vhodné pro naše technologie.

První praktické zkoušky byly zaměřeny na samotné kování. Dosáhlo se velmi dobrého výsledku. Výkovek byl celistvý, bez vnitřních vad, dostatečně dokovaný. Dále se pokračovalo děrovací zkouškou. Poslední praktickou zkouškou byla zkouška obrábění. Při ní se potvrdily dostatečné přídavky na obrobení.

Výsledek práce lze hodnotit velice kladně. Podařilo se prokázat, že nová technologie je zvládnutelná a dosahuje se při ní velkých úspor. Díky tomu je splněn cíl této práce, tedy zavést novou technologii do sériové výroby a zvýšit konkurenceschopnost firmy ZKL Hanušovice.

## **6 Seznam použité literatury**

- [1] Interní materiály firmy ZKL Hanušovice, a.s (prospekty, zprávy)
- [2] <http://www.zkl.cz/cs/o-nas/historie-koncernu-zkl>
- [3] <http://www.zkl.cz/cs/o-nas/o-spolecnosti>
- [4] [http://www.kvm.tul.cz/studenti/texty/uvod\\_do\\_strojirenstvi/UdS-5pr.pdf](http://www.kvm.tul.cz/studenti/texty/uvod_do_strojirenstvi/UdS-5pr.pdf)
- [5] [http://www.spstjbc.cz/spst\\_files/projekty/vyuka\\_v\\_cizim\\_jazyce/moduly/modul%20st/en/stta4\\_tvareni%20za%20tepla%20-%20kovani.pdf](http://www.spstjbc.cz/spst_files/projekty/vyuka_v_cizim_jazyce/moduly/modul%20st/en/stta4_tvareni%20za%20tepla%20-%20kovani.pdf)

Pozn.: Obrázky bez odkazu ke zdroji jsou vlastní.

## **7 Seznam obrázků**

Obr. 1.1	Pohled na areál firmy ZKL Hanušovice .....	10
Obr. 1.2	Ukázka sortimentu mosazných klecí.....	14
Obr. 1.3	Jednostranně zubatá klec.....	15
Obr. 1.4	Oboustranně zubatá klec.....	16
Obr. 1.5	Prstencový polotovar .....	16
Obr. 1.6	Uložení polotovarů při přepravě.....	17
Obr. 1.7	Obráběcí centrum Okuma Multus.....	17
Obr. 1.8	Obrobená klec .....	18
Obr. 1.9	Vibrační omílací stroj Rössler.....	19
Obr. 2.1	Nákres formy kokily .....	27
Obr. 2.2	Schématický řez odlitkem.....	28
Obr. 2.3	Neopracovaný gravitační odlitek .....	29
Obr. 2.4	Efektivní deformace .....	30

Obr. 2.5	Simulace opotřebení nástrojů .....	31
Obr. 2.6	Kovací souprava .....	32
Obr. 2.7	Spodní díl zápustky – zuby tvořené jádrem a vyhazovači.....	32
Obr. 2.8	Horní díl zápustky – výměnné jádro pro možnost kování i horních zubů	32
Obr. 2.9	Vykovaný mosazný polotovár.....	33
Obr. 3.1	Nedokované zuby .....	39
Obr. 3.2	Výkovek s malým výronkem.....	40
Obr. 3.3	Upadané zástřiky na polotovar.....	41
Obr. 3.4	Obrobená klec z materiálu CuZn35Mn3Al2Si.....	42
Obr. 3.5	Detail obrobené kapsy.....	43
Obr. 3.6	Obrobená klec z materiálu CuZn40Pb2.....	44
Obr. 3.7	Detail neobrobené kapsy.....	44
Obr. 3.8	Stopa po vyhazovači .....	47
Obr. 3.9	Ohřev v plynové peci.....	47
Obr. 3.10	Uložení polotovaru v zápustce.....	47
Obr. 3.11	Vzorek výkovku, SD .....	48
Obr. 3.12	Vzorek výkovku, HD .....	48
Obr. 3.13	Propsání vyhazovače.....	48
Obr. 3.14	Propsání vyhazovače .....	48
Obr. 3.15	Zahřátý výkovek v zápustce.....	49
Obr. 3.16	Děrovací stolice .....	51
Obr. 3.17	Správně obrobená klec .....	54
Obr. 3.18	Neobrobené stopy v kapse .....	54
Obr. 3.19	Čelní pohled na přídatky v kapse při částečném obrobení kapsy .....	55

## 8 Seznam tabulek

Tab. 2.1	Chemické složení polotovaru .....	28
Tab. 3.1	Chemické složení slitiny CuZn35Mn3Al2Si .....	37
Tab. 3.2	Chemické složení slitiny CuZn40Pb2.....	37
Tab. 3.3	Chemické složení slitiny Ms58Al.....	37
Tab. 3.4	Tvrdost slitiny CuZn35Mn3Al2Si .....	38
Tab. 3.5	Tvrdost slitiny CuZn40Pb2.....	38
Tab. 3.6	Tvrdost slitiny Ms58Al.....	38
Tab. 3.7	Chemické složení slitiny Ms58Al.....	46
Tab. 4.1	Váhové a finanční zhodnocení jednotlivých typorozměrů .....	57